

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP03/ 10444

#2

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EPO - Munich
83

REC'D 04 DEC 2003

07. Okt. 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 46 251.8

Anmeldetag: 02. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: Zimmer AG,
Frankfurt am Main/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur
kontinuierlichen Herstellung von
Polyestern

IPC: C 08 G, B 01 J

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 04. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Zimmer Aktiengesellschaft

Borsigallee 1

60388 Frankfurt am Main

Fall Nr. 020011

Verfahren und Vorrichtung zur kontinuierlichen Herstellung von Polyestern

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Herstellung von Polyestern (PES) durch Ver-/Umesterung von Dicarbonsäuren oder Dicarbonsäureestern mit Diolen, vorzugsweise von Polyethylteraphthalat (PET), ausgehend von Terephthalsäure (PTA) oder Dimethylterephthalat (DMT) und Ethylenglykol (EG), in wenigstens einer Reaktionsstufe, Vorpolykondensation des Ver-/Umesterungsprodukts unter Vakuum mittels einer aus einem vertikalen Reaktor bestehenden Reaktionsstufe und Polykondensation des Vorpolykondensationsprodukts in wenigstens einer Polykondensationsstufe.

Für die kontinuierliche Herstellung von PET werden PTA oder Dimethylterephthalat (DMT) und EG als Ausgangsstoffe eingesetzt. PTA wird mit EG und einer Katalysatorlösung zu einer Paste gemischt und einer ersten Reaktionsstufe zur Veresterung aufgegeben, in der die Veresterung bei Atmosphären- oder Überatmosphärendruck unter Abspaltung von Wasser erfolgt. Wenn DMT eingesetzt wird, werden die DMT-Schmelze und der Katalysator zusammen mit dem EG einer ersten Reaktionsstufe zur Umesterung zugeleitet, in der die Reaktion bei Atmosphärendruck unter Abspaltung von Methanol (MeOH) erfolgt. Der Produktstrom der Ver-/Umesterung wird einer Reaktionsstufe zur Vorpolykondensation, die im Regelfall unter Vakuum durchgeführt wird, zugeleitet. Der

Produktstrom aus der Vorpolykondensation wird in eine Reaktionsstufe zur Polykondensation eingetragen. Die erhaltene Polyesterschmelze wird direkt zu Fasern oder zu Chips verarbeitet.

Das konventionelle Verfahren zur Herstellung von PET besteht aus jeweils zwei Rührstufen zur Veresterung und Vorpolykondensation und einem liegenden Kaskadenreaktor zur Polykondensation, der eine sumpfseitige Kammerung und ein mit senkrechten Loch- oder Ringscheiben bestücktes Rührwerk auf einer waagerechten Welle zum Zwecke einer definierten Oberflächenerzeugung beinhaltet. Die Nachteile dieses Verfahrens sind insbesondere darin zusehen, dass im Kaskadenreaktor bei ausreichend großen Durchsätzen vergleichsweise hohe, die Qualität nachteilige Temperaturen von 284 bis 288 °C auftreten. Das in der ersten Rührstufe der Vorpolykondensation zur Vermeidung von Schaumbildung und Tröpfchenflug (Entrainment) angelegte Vakuum ist auf $p \geq 50$ mbar begrenzt. Ebenso ist die Viskosität des Vorpolykondensationsprodukts auf einen Bereich von 0.20 bis 0.24 IV begrenzt. Nachteilig ist ferner der erhöhte Gasanfall in dem die Polykondensationsstufe bildenden Kaskadenreaktor. Der Einsatz eines liegenden Kaskadenreaktors anstelle der zweiten Rührstufe zur Vorpolykondensation gestattet eine hohe Flexibilität der PET-Herstellung bei vergleichsweise niedrigeren Temperaturen von 277 bis 283 °C im Kaskadenreaktor zur Polykondensation und einer gesteigerten Viskosität des Vorpolykondensationsprodukts von 0.27 bis 0.31 IV sowie beste Möglichkeiten zur Erhöhung der Anlagenkapazität (Schumann, Heinz-Dieter: Polyester producing plants; principles and technology. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 1996, S. 27 bis 33). Nachteilig bleiben jedoch die hohen Investitionskosten für die apparative Ausrüstung und das Betriebsgebäude.

Bei einer Anlage, bestehend aus zwei Rührbehältern zur Veresterung, einem Etagenreaktor zur Vorpolykondensation und einem liegenden Kaskadenreaktor zur Polykondensation, ergibt sich bei relativ geringem Aufwand eine vergleichbare Stabilität und Flexibilität der Polyester-Herstellung allerdings mit dem Nachteil, dass sich die Abmessungen der Reaktoren der Vorpolykondensations- und der Polykondensationsstufe wegen erhöhter Brüden volumina vergrößern und die zulässigen Transportabmessungen bereits bei mittleren Anlagekapazitäten erreicht werden.

Bei dem in der DE-C-4415220 beschriebenen Verfahren zur Herstellung von PET mittels vier Reaktionsstufen wird jeweils ein stehender Reaktor zur Nachveresterung und Vorpolykondensation benutzt. Der Reaktor besitzt in seinem anfänglichen oberen Bereich einen nach oben offenen spiralförmigen Kanal mit wandseitiger Produktaufgabe, der von außen nach innen verlaufend über einen zentralen Überlauf mit einem bodenseitigen gerührten Produktsumpf kommuniziert, wobei der Kanalboden in Strömungsrichtung kontinuierlich ansteigt, so dass die Tiefe des Produktstroms stetig abnimmt. Die Beheizung des Produktstroms erfolgt mit Hilfe einzelner, sich anfänglich in Abständen wiederholender Heizkörper und optional über die Kanalwandungen. Durch den in Strömungsrichtung ansteigenden Kanalboden wird eine selbständige Systementleerung in Strömungsrichtung verhindert mit der Folge von Rückstandsbildungen, Qualitätsverschlechterung oder Produktverlusten, insbesondere bei betrieblichen Störfällen oder beim Stillsetzen der Produktionsanlage. Infolge der mit einem einzelnen Kanalboden begrenzten Ausdampffläche wird das Betriebsvakuum entweder eingeschränkt, die Betriebstemperatur gesteigert, die Farbqualität des erzeugten Produkts gemindert oder es besteht bei erhöhtem Vakuum die Gefahr einer überhöhten Dampfgeschwindigkeit und eines für eine störungsfreie Kondensation kritischen Tröpfchenflugs; dieser Effekt wird zusätzlich durch lokal konzentrierte Heizkörper im Strömungskanal verstärkt.

Die US-A-5464590 offenbart einen stehenden Polymerisationsreaktor mit mehreren vertikal übereinander angeordneten Böden, die jeweils zwei nach oben offene Strömungskanal und am jeweiligen Kanalende ein Überlaufwehr mit anschließender Bodenaussparung zur vertikalen Produktübergabe in Form eines frei fallenden Films auf den Folgeboden aufweisen. Der Kanal besitzt die Gestalt einer angenähert ringförmigen doppelten Schleife, wobei die jeweils erste Schleife in die zweite gegenläufige Schleife halbkreisförmig umgelenkt wird. Das flüssige Polymer durchströmt die Kanäle von oben nach unten in freier Bewegung. Die Dämpfe strömen zwischen den Böden jeweils zur Mitte des Reaktors und entweichen über zentrale Bodenöffnungen bis zum Brüdenabgang am Reaktordeckel. Eine niedrige Füllhöhe auf den Böden und eine auf den Bodenbereich beschränkte Heizung bedeuten für die Vorpolykondensation von Veresterungsprodukten mit eingeschränkten Polymergraden von 4.5 bis 7.5 ein Defizit an Verweilzeit mit der Folge, dass entweder die Zahl der Böden oder die Abmessungen des Reaktors vergrößert werden müssen. Ein weiterer Nachteil ist darin zusehen, dass durch den Einbau von Leitkörpern und freien Fallfilmzonen Reaktionsraum verloren geht. Durch die horizontale

Anordnung der Kanalböden und durch die Überlaufwehre sind ein rückstandfreier Dauerbetrieb des Reaktors und/oder seine vollständige Entleerbarkeit nicht gewährleistet.

Die gleichen Nachteile ergeben sich auch bei dem in der US-A-5466419 dargestellten Polymerisationsreaktor, bei dem das dem ersten Ringkanal aufgegebene Produkt in zwei Teilströme aufgespalten wird, die jeweils bis zur Strömungsumkehr und dem Überlaufwehr bzw. dem Produktablauf zwei Halbkreisschleifen und eine halbierte Wegstrecke durchströmen, d.h. bei vergleichbarem Kanalquerschnitt ist die Strömungsgeschwindigkeit ebenfalls halbiert und das hydrostatische Druckgefälle reduziert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, beim eingangs beschriebene Verfahren zur Herstellung von PET die Vorpolykondensation in einer Reaktionsstufe durchzuführen und gleichzeitig die Viskosität des Vorpolykondensationsprodukts auf 0.24 bis 0.26 IV bei geringeren Prozeßtemperaturen von 268 bis 275 °C in der Vorpolykondensationsstufe und 276 bis 282 °C in der Polykondensationsstufe sowie einem niedrigeren Vakuum von 7 bis 18 mbar zu erhöhen. Ferner sollen sich Schaumbildung und Tröpfchenflug einfach beherrschen lassen.

Gelöst ist diese Aufgabe dadurch, dass das in den Reaktor, in dem ein Druck von 10 bis 40 % des Diol-Gleichgewichtsdrucks des den Reaktor verlassenden Vorpolykondensationsprodukts herrscht, zulaufende Ver-/Umesterungsprodukt in freier Bewegung nacheinander zunächst wenigstens eine aus einer Rinne gebildete erste Reaktionszone unter begrenzter Erwärmung mit konstanter Produkthöhe durchströmt, danach in den radial außen oder radial innen liegenden Ringkanal wenigstens einer aus einer in mehrere konzentrische Ringkanäle unterteilten ringförmigen Rinne gebildeten zweiten Reaktionszone eingetragen, mit konstanter Produkthöhe nacheinander durch die Ringkanäle zum Auslaß und dann in eine gerührte am Boden des Reaktors befindliche dritte Reaktionszone geleitet wird. Durch die Anordnung einer ersten und zweiten Reaktionszone wird eine hinreichend große Ausdampffläche und damit eine Einschränkung der Dampfbelastung erreicht.

Der sich aus hydrostatischem Druck und dem Betriebsdruck ergebenden Gesamtdruck des Reaktionsprodukts am Boden der Rinnen der ersten und zweiten Reaktionszone ist kleiner

als der lokale Diol-Gleichgewichtsdruck der Polykondensationsstufe und liegt 5 bis 80%, vorzugsweise 10 bis 70 %, des Diol-Gleichgewichtsdrucks. Dadurch lassen sich auf relativ einfache Weise reproduzierbare Polykondensationsbedingungen erzielen gemäß der Formulierung: $p_{GL} = 4 p_{s,T} [(DP)^2 - 1]^{-1}$, wobei mit p_{GL} der EG-Gleichgewichtsdruck, mit $p_{s,T}$ der EG-Dampfdruck und mit DP der Polymerisationsgrad bezeichnet sind.

Bei vergleichbaren relativen Gesamtdrücken ist die Produkthöhe in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone gegenüber derjenigen in der Rinne der ersten Reaktionszone um den Faktor 2 bis 3.5 niedriger.

Üblicherweise werden die in den drei Reaktionszonen gebildeten Brüden aus dem Reaktor gemeinsam abgezogen. Eine vorzugsweise Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, die Brüden der ersten Reaktionszone einer Abscheidevorrichtung für die mitgerissenen Produkttröpfchen zuzuführen, bevor diese mit den Brüden der beiden andern Reaktionszonen vereinigt werden. Durch diese Maßnahme läßt sich das Schaum- und Tröpfchenproblem beherrschen.

Die Strömung in der die erste Reaktionszone bildenden Rinne kann wegen der heftigen Gasentwicklung bis etwa zur Hälfte des Strömungswegs als turbulent angesehen werden. Mit dem Nachlassen der Gasbildung und dem Anstieg der Zähigkeit des Produktstroms stellt sich dann spätestens im letzten Drittel des Strömungswegs eine laminare Strömung ein. Nach der Ähnlichkeitstheorie von Strömungen in offenen Gerinnen ist die Strömung des Produktstroms in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone laminar. Um bei laminarer Strömung die Ausbildung einer schnelleren Kernströmung und einer langsameren Randströmung am Boden und den Wänden der Rinne der ersten Reaktionszone sowie den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone zu vermeiden, ist es nach einem weiteren Erfindungsmerkmal erforderlich, die Geschwindigkeit der Kernströmung zu drosseln bzw. diejenige der Randströmung zu beschleunigen.

Im Rahmen der weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der Produktstrom parallel gleichläufig oder parallel gegenläufig durch die Ringkanäle der zweiten Reaktionsstufe geleitet.

Bei der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist zur begrenzten kontrollierten Erwärmung des Produktstroms in der Rinne der ersten Reaktionszone ein in Strömungsrichtung verlaufendes Heizregister angeordnet, dessen Rohre in quer zur Strömungsrichtung angebrachten Kammerblechen bei bodenfreiem und/oder wandfreiem Durchgang gehalten sind. Durch diese Kammerbleche wird die axiale Geschwindigkeit des Produktstroms in den freien Randzonen gedrosselt und im Bereich des Heizregisters und am Boden relativ beschleunigt. Umgekehrt wird durch Strömungseinbauten in den nachfolgenden laminaren Gerinneströmungen die rand- und bodenseitig langsamere Geschwindigkeit beschleunigt und in der rascheren Kernströmung gebremst.

Im Rahmen der besonderen Ausgestaltung der Vorrichtung ist über der Rinne der ersten Reaktionszone ein geschlossener Brüdensammelraum angebracht, dessen Austrittsöffnung mit einer Abscheidevorrichtung, vorzugsweise einer zyklonartigen Gasführung, für die mitgerissenen Produkttröpfchen verbunden ist.

Um eine Konstanz der Produktniveaus in der Rinne der ersten Reaktionszone und in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone zu erreichen, sind nach einem zusätzlichen Erfindungsmerkmal am Ende der Rinnen bzw. der Ringkanäle Überströmstaubleche oder Überlaufrohre angebracht, wobei es zur Vermeidung von Abscheideeffekten zweckmäßig ist, jedem Überströmstaublech ein Unterströmstaublech und jedem Überlaufrohr ein Steigrohr vorzuschalten.

Damit beim Abstellen der Vorrichtung zur Herstellung von PES eine selbsttätige und vollständige d.h. rückstandsfreie Entleerung der Rinne der ersten Reaktionszone und der Ringkanäle der zweiten Reaktionszone des Reaktors möglich ist, ist nach einem weiteren Erfindungsmerkmal an deren Ende jeweils die Anordnung eines Schwanenhalsaustrags am tiefsten Punkt des Bodens vorgesehen.

Ein weiteres erfindungsgemäßes Merkmal ist, zusätzlich an den Enden von Rinne und/oder Ringkanälen in der hintersten toten Ecke am tiefsten Punkt des Bodens ein Drainagerohr oder zwischengeschaltete Drainageöffnungen anzuordnen, um eine Ansammlung von Rückständen zu vermeiden.

Zweckmäßigerweise ist der Boden der Rinne der ersten Reaktionszone und/oder derjenige der die Ringkanäle der zweiten Reaktionszone bildenden Rinne mit 0.5 bis 6° , vorzugsweise mit 1 bis 4° zur horizontalen Ebene geneigt.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Vorrichtung besteht darin, dass der Rührer für die dritte Reaktionszone ein bodenläufiger Impeller, ein Finger-, Rahmen- oder Trommelrührer mit jeweils senkrechter Antriebsachse ist.

Der Rührer für die dritte Reaktionszone kann Bestandteil einer Drehscheibenkaskade oder eines Käfigreaktors mit jeweils horizontaler Antriebsachse sein. Die Drehscheibenkaskade beinhaltet Loch-, Ring- oder Vollscheiben, wobei der Einlaß für das Reaktionsprodukt je zur Hälfte an den axialen Enden und der gemeinsame Auslaß in der Mitte angebracht sind. Es besteht auch die Möglichkeit, bei einer Drehscheibenkaskade mit Lochscheiben den Einlaß für das Reaktionsprodukt an dem einen und den Auslaß an dem gegenüberliegenden Ende anzuordnen.

Die Erfindung ist in der Zeichnung beispielhaft dargestellt und wird nachstehend erläutert.

Wie in dem Längsschnitt wiedergegeben wird über Leitung 1 ein Veresterungsprodukt zur Vorpolykondensation dem senkrechten Reaktionsbehälter 2 in die darin angeordnete radial umlaufende die erste Reaktionszone bildende Rinne 3 zugeführt. In der Rinne 3 befindet sich ein Heizregister 4, dessen Rohre 5 konzentrisch angeordnet sind, wobei zur Bildung eines Brüdensammelraums 6 die Rinne nach oben durch eine zwischen radialer Rinnenaußenwand und Reaktorbehälter 2 konzentrisch umlaufende Wand 7 abgeschlossen ist. Die aus dem Brüdensammelraum 6 mitgerissenen Produkttröpfchen werden in der zyklonartigen Abscheidevorrichtung 8 abgetrennt. Das die Rinne 3 verlassende Produkt wird über eine Überlaufrohr 9 am Anfang eines außen liegenden Ringkanals 10 und danach zwei weitere Ringkanäle 11, 12 umfassenden, den ersten Abschnitt der zweiten Reaktionszone bildenden Rinne 13, aufgegeben. Nach Durchströmen der Ringkanäle 10, 11, 12 wird das Produkt am Ende des innen liegenden Ringkanals 12 durch eine Überlaufrohr 14 ausgetragen und in den außenliegenden Ringkanal 15 einer zwei weiteren Ringkanäle 16, 17 umfassenden den zweiten Abschnitt der zweiten Reaktionszone bildenden Rinne 18 eingetragen. Am Ende des innen liegenden Ringkanals 17 wird das

Produkt über das Überlaufrohr 19 abgeleitet und dem die dritte Reaktionszone bildenden, mittels eines Impellers 20 mit senkrechter Antriebsachse 21 gerührten Sumpf 22 zugeführt. Die in den drei Reaktionszonen entstehenden Brüden werden über die Leitung 23 nach außen geleitet. Das Vorpolykondensationsprodukt wird über die Leitung 24 aus dem Sumpf 22 ab- und der nicht dargestellten Polykondensationsstufe zugeführt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Polyestern (PES) durch Ver-/Umesterung von Dicarbonsäuren, vorzugsweise Terephthalsäure, bzw. Estern der Dicarbonsäuren mit Diolen, vorzugsweise Ethylenglycol (EG), in wenigstens einer Reaktionsstufe, Vorpolykondensation des Ver-/Umesterungsprodukts unter einem Vakuum mittels einer aus einem vertikalen Reaktor bestehenden Reaktionsstufe und Polykondensation des Vorpolykondensationsprodukt in wenigstens einer Polykondensationsstufe, **dadurch gekennzeichnet**, dass das in den vertikalen Reaktor, in dem ein Druck von 10 bis 40 % des Diol-Gleichgewichtsdrucks des den Reaktor verlassenden Vorpolykondensationsprodukts herrscht, zulaufende Ver-/Umesterungsprodukt in freier Bewegung nacheinander zunächst wenigstens eine aus einer ringförmigen Rinne gebildeten erste Reaktionszone unter begrenzter Erwärmung durchströmt, danach in den radial außen oder den radial innen liegenden Ringkanal wenigstens einer aus einer in mehrere konzentrische Ringkanäle unterteilte ringförmige Rinne gebildeten zweiten Reaktionszone eingetragen, nacheinander durch die Ringkanäle zum Auslaß und dann in eine gerührte am Boden des Reaktors befindliche dritte Reaktionszone geleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gesamtdruck des Reaktionsprodukts am Boden der Rinnen der ersten und zweiten Reaktionszone kleiner als der lokale Diol-Gleichgewichtsdruck des Polykondensationsproduktes ist.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gesamtdruck des Reaktionsprodukts am Boden der Rinnen der ersten und zweiten Reaktionszone 5 bis 80 %, vorzugsweise 10 bis 70 %, des lokalen Diol-Gleichgewichtsdrucks des Polykondensationsproduktes beträgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die in den drei Reaktionszonen gebildeten Brüden aus dem Reaktor gemeinsam abgezogen werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Brüden der ersten Reaktionszone einer Abscheidevorrichtung für die mitgerissenen

Produkttröpfchen zugeführt werden, bevor sie mit den Brüden der beiden andern Reaktionsstufen vereinigt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Reaktionsprodukt parallel gleichläufig durch benachbarte Ringkanäle der zweiten Reaktionszone geleitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Reaktionsprodukt parallel gegenläufig durch die Ringkanäle der zweiten Reaktionszone geleitet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Produktniveau der gerührten dritten Reaktionszone geregelt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Produktniveau in der Rinne der ersten Reaktionszone und in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone konstant gehalten wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Produktniveau in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone um einen Faktor 2 bis 3.5 niedriger ist als in der Rinne der ersten Reaktionszone.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **gekennzeichnet durch** ein in der Rinne der ersten Reaktionszone angeordnetes, in Strömungsrichtung verlaufendes Heizrohrregister, dessen Rohre in quer zur Strömungsrichtung angebrachten Kammerungsblechen gehalten sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **gekennzeichnet durch** einen über der Rinne der ersten Reaktionszone angebrachten geschlossenen Brüdensammelraum, dessen Austrittsöffnung mit einer Abscheidevorrichtung für die mitgerissenen Produkttröpfchen verbunden ist.
13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 und 12, **gekennzeichnet durch** ein am Ende der Rinne der ersten Reaktionszone angeordnetes Überströmstaublech oder Überlaufrohr.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **gekennzeichnet durch** ein am Ende eines jeden Ringkanals der zweiten Reaktionszone angeordnetes Überströmstabilech oder Überlaufrohr.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß jedem Überströmstabilech oder Überlaufrohr ein Unterströmstabilech oder ein Steigrohr vorgeschaltet ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 und 12, **gekennzeichnet durch** einen am Ende der Rinne der ersten Reaktionszone oder am Ende des letzten Ringkanals der zweiten Reaktionszone jeweils am tiefsten Punkt des Bodens angeordneten Schwanenhalsaustrag mit Drainage-Bypass und Entlüftungsrohr.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **gekennzeichnet durch** ein am Ende der Rinne der ersten Reaktionsstufe oder am Ende eines jeden Ringkanals der zweiten Reaktionszone jeweils am tiefsten Punkt des Bodens gelegene Drainageöffnung.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Ringkanälen der zweiten Reaktionszone Leitbleche angeordnet sind.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Boden der Rinne der ersten und /oder der zweiten Reaktionszone mit 0.5 bis 6° , vorzugsweise 1 bis 4° , gegenüber der horizontalen Ebene geneigt ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rührer für die dritte Reaktionszone aus einem bodenläufigen Impeller, Finger-, Rahmen- oder Trommelrührer jeweils mit vertikaler Antriebsachse besteht.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rührer für die dritte Reaktionszone einen Drehscheibenrührer oder einen Käfigrührer jeweils mit horizontaler Antriebsachse beinhaltet.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Drehscheibenrührer aus Loch-, Ring- oder Vollscheiben bestückt ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einer Drehscheibenkaskade der Einlaß für das Reaktionsprodukt je zur Hälfte an den axialen Enden und der gemeinsame Auslaß in der Mitte angebracht sind.
24. Vorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Drehscheibenkaskade mit Lochscheiben der Einlaß für das Reaktionsprodukt an dem einen und der Auslaß an dem gegenüberliegenden Ende angebracht sind.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 22, **gekennzeichnet durch** jeweils eine an den Enden der Rinnen und der Ringkanäle stationäre, bodenseitig angebrachte Teilstromdrainage.

